

Башта О.Т., канд. техн. наук
 Джурик О.В.,
 Романенко В.Г., канд. техн. наук,
 Волоха М.П., канд. техн. наук,
 Национальный авиационный университет (м. Киев)

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ КАВИТАЦИИ В ЖИДКОСТИ, НАХОДЯЩИЙСЯ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Представлена методика кавитационного расчета входных магистралей объемных насосов переменной подачи, которая позволяет определить возникновение кавитации на разных режимах работы и оптимизировать геометрические параметры питающего трубопровода

Cavitations calculations method of incoming main-lines volumetrical pumps of variable feed, which allows to determine the beginning of cavitations at different work regimes and to optimize geometrical parameters of incoming pipelines is presented

При исследованиях по вибрационной кавитации жидкости для создания вибрации был использован серийный электродинамический вибрационный стенд ВЭДС-100, жидкость находилась в сосуде (колбе) с внутренним сечением 40×40 и высотой 515 мм, выполненным из прозрачного материала (оргстекла). (Рис. 1) Сосуд своим основанием жестко крепился в вертикальном положении к горизонтальному столу испытательного стенда.

В испытательной системе была предусмотрена возможность проведения опытов как в открытой, так и в закрытой схеме с наддувом емкости сжатым газом. Рассмотрим схему, в которой колба с жидкостью установлена вертикально на столе вибростенда (Рис.1). Выведем условия разрыва сплошности на основании простейшей математической модели процесса.

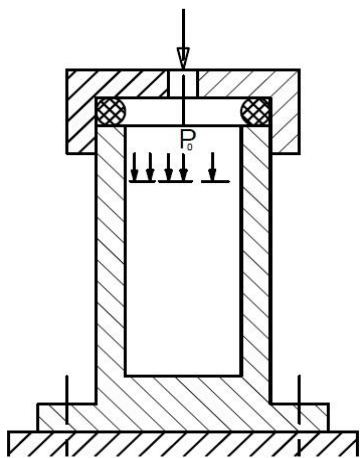


Рис. 1. Экспериментальный сосуд

Давление в сечении столба, расположенном на расстоянии $h_{\text{тек}}$ от поверхности, определяется зависимостью

$$P_{\text{тек}} = P_0 + \rho g h_{\text{тек}} - I m = P_0 + \rho g h_{\text{тек}} + \alpha \omega^2 \sin \omega t \rho h_{\text{тек}}, \quad (1)$$

где P_0 - давление в емкости;

ρ - плотность жидкости;

$I = -\alpha \omega^2 \sin \omega t$ - ускорение емкости;

m - масса столба жидкости высотой $h_{\text{тек}}$;

Разрыв сплошности жидкостной среды при вибрациях, как и в рассмотренном гидродинамическом процессе, произойдет при условии, если давление в какой-либо точке ее объема понизится до величины близкой к давлению упругости паров жидкости при данной температуре $P_{\text{н.п.}}$, т.е. при условии

$$P_{\text{тек}} \approx P_{\text{кав}} \approx P_{\text{н.п.}} \quad (2)$$

Из (1) следует, что разрыв сплошности и возникновение кавитации возможно лишь при условии

$$\sin \omega t < 0 \quad (3),$$

т.е. при движении стола вибростенда и доньшка колбы вниз.

Подставим $P_{\text{тек}}$ из (2) в (1) и запишем условия разрыва сплошности

$$P_{\text{н.п.}} = P_0 + \rho g h_{\text{тек}} + \alpha \omega^2 \sin \omega t h_{\text{тек}} \quad (4)$$

Т.к. кавитация возможна лишь при условии (3), то (4) можно представить в виде

$$P_{\text{н.п.}} = P_0 + \rho g h_{\text{тек}} - \alpha \omega^2 \rho / \sin \omega t / h_{\text{тек}}$$

Текущая высота столба жидкости, при которой начнется кавитация

$$h_{\text{тек}} = \frac{P_{\text{н.п.}} - P_0}{\rho(g - \alpha \omega^2 / \sin \omega t)} = \frac{P_0 - P_{\text{н.п.}}}{\rho(\alpha \omega^2 / \sin \omega t - g)}$$

Определим критическую высоту столба жидкости $h_{\text{кр.}}$, т.е. минимальную высоту, при которой произойдет разрыв сплошности

жидкости. Очевидно, $h_{\text{тек}}$ будет минимальной при условии, если $|\sin \omega t| = 1$. Отсюда

$$h_{\text{кр.}} = \frac{P_0 - P_{\text{н.п.}}}{\rho(\alpha\omega^2 - g)} \quad (5)$$

Граничным условием возникновения кавитации является условие $\alpha\omega^2 > g$, поскольку $h_{\text{кр.}} > 0$, случай $\alpha\omega^2 = g$ соответствует $h_{\text{кр.}} \rightarrow \infty$.

Таким образом, мы определили зависимость $h_{\text{кр.}}$ от параметров вибрации. При данной высоте $h_{\text{кр.}}$ столба жидкости сплошность жидкости нарушается и в ней образуются кавитационные пузырьки.

В последующей за рассмотренной отрывной фазой колебательного процесса – фазе сжатия, кавитационные пузырьки вследствие повышения давления схлопнутся, в результате чего жидкость будет подвергаться кавитационной деструкции.

Вибрационные условия связаны с частотой ν и амплитудой α колебаний известным соотношением

$$I = \frac{\alpha\nu^2}{250}$$

Где I – ускорение в единицах земного тяготения $g = 9.81 \text{ М/сек}^2$;

ν – частота колебаний в Гц;

α - амплитуда колебаний в мм.

На Рис.2 приведена кривая α , характеризующая теоретическую зависимость от ускорения I / в долях g / критической, с этой точки зрения, высоты столба жидкости, при превышении которой возникает кавитация, подсчитанная по формуле /5/ для условий $P_0 = P_{\text{атм}}$.

Из графика следует, что для каждого ускорения существует своя критическая высота столба жидкости, которая с увеличением ускорения уменьшается.

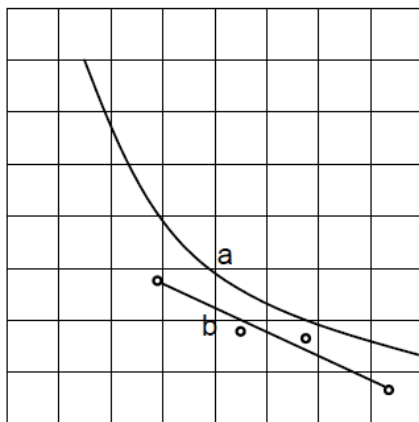


Рис.2. Зависимость критической высоты столба жидкости от вибрационного ускорения:
 а – теоретическая зависимость;
 б – экспериментальная зависимость.

Визуальные наблюдения за возникновением и поведением в жидкости кавитационных очагов были проведены в прозрачной опытной модели при различных, характерных для самолетов условиях в диапазоне вибрационных ускорений до 40 g .

При проведении первого эксперимента высота столба жидкости составляла 450 мм. Результаты наблюдений показали, что при достижении некоторого значения вибрационного ускорения / в нашем случае $\omega = 150 \text{ Гц}$; $\alpha = 0.19 \text{ мм}$, $I = 17 \text{ g}$ / кавитационная зона в виде скоплений парогазовых пузырьков, возникает в отдельных точках на границе контакта жидкости с доньшком или в углу у одной из стенок /см. рисунок 3. С повышением ускорения в исследуемом диапазоне, достигаемом как за счет увеличения амплитуды колебаний при постоянной частоте, так и за счет увеличения частоты колебаний при постоянной амплитуде, или одновременного изменения частоты и амплитуды, кавитационный процесс углубляется с расширением кавитационной зоны по всей поверхности доньшка и, частично, по высоте столба жидкости. Создание такого плотного парогазовых пузырьков слоя нами было условно принято за показатель наступления стабильного процесса кавитации. На рис.3 показано фото, характеризующее образование такого слоя, наблюдавшееся при частоте вибраций =175 Гц и амплитуде $\alpha = 0.21 \text{ мм}$ / соответствует ускорению 25 g /. Толщина кавитационного слоя при этих условиях достигла $\sim 80 \text{ мм}$.

Вступление жидкости в кавитационный режим сопровождалось, кроме появления у доньшка кавитационной зоны, выделением из жидкости мелких воздушных пузырей в виде пыли, которые собирались в относительно большие пузыри, беспорядочно циркулирующие, при изменении параметров вибрации, во всем объеме жидкости. Характер этих газовых скоплений и траектории их перемещений по-видимому обусловлены циркуляцией жидкости и не подчиняются какой-либо возмущенностью поверхности жидкости. Поверхность при этом сохранялась спокойной. Следовательно, их появление можно отнести лишь за счет выделения воздуха из жидкости при кавитации. О газовой природе скоплений свидетельствовало устойчивое их существование в жидкости.

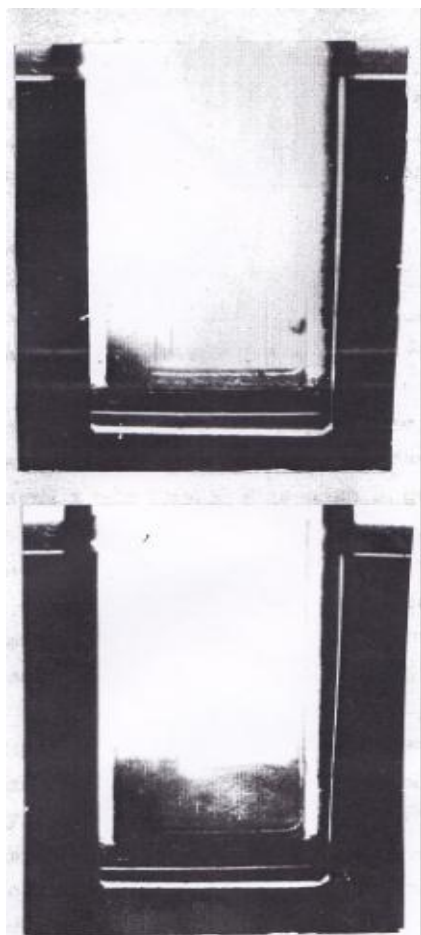


Рис. 3. Образование кавитационных каверн при вибрации:
 а) частота 150 Гц; амплитуда 0,19 мм; ускорение 17 м/с^2 ;
 б) частота 175 Гц; амплитуда 0,21 мм; ускорение 25 м/с^2 .

Визуальные наблюдения за процессом образования в жидкости кавитационных очагов были также проведены для высот столба жидкости: $h=550$; 350 ; 250 ; 150 мм. Для каждой из этих высот определялось критическое ускорение, т.е. минимальное ускорение, необходимое для возникновения кавитации.

На рис.2 представлены теоретическая и экспериментальная зависимости критической высоты столба жидкости от вибрационного ускорения.

Результаты экспериментов представлены на рис.2 кривой *b*. Из сопоставления графиков, приведенных на рис.2, следует, что экспериментальные значения критических ускорений для всех указанных высот столбов жидкости процентов на 30-35 ниже значений, вычисленных по формуле (5). Расхождение расчетных и опытных значений следует объяснить тем, что расчеты произведены без учета перечисленных выше факторов, могущих влиять на фактическое течение

процесса. Помимо указанного, на рассматриваемый процесс при малых амплитудах будет оказывать влияние тот факт, что в реальных жидкостях имеется некоторое количество свободного воздуха, который будет заполнять образовавшиеся разрывы сплошности объема жидкости, препятствуя тем самым возникновению кавитации. В наших экспериментах, проведенных при высоте столба жидкости $h=250$ мм минимальная амплитуда, при которой визуально наблюдалась кавитация / при условии $I \geq I_{\text{кр}} = 17g$ / была равной $0,02$ мм.

Литературные источники:

1. Глазков М.М., Ланецкий В.Г., Макаренко Н.Г., Челюканов И.П., Кавитация в жидкостных системах воздушных судов. – К.: КИИГА, 1987. – 64 с.